ЭКОНОМИКА

УДК 657.922.012

О.Р. КИРИЩИЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕОРИИ НАДЁЖНОСТИ

Стоимость бывших в употреблении машин и оборудования можно описать экспоненциальными математическими моделями, основанными на учёте вероятности безотказной работы и получаемыми с использованием текущей информации о ценах вторичного рынка.
Ключевые слова: *стоимость, отличия, возраст, модель, вероятность.*

Введение. В рыночной экономике у различных субъектов хозяйственной деятельности периодически возникает необходимость оценки стоимости машин и оборудования. Стоимость определяется в процессе сравнения с сопоставимыми по функциональным характеристикам аналогами, в отношении которых имеется ценовая информация. Часто в качестве объекта оценки фигурирует имущество, уже побывавшее в употреблении. Тогда при сопоставлении используются также бывшие в употреблении аналоги. Обычно объект оценки и аналоги отличаются по возрасту и, как следствие, по техническому состоянию. Различия учитываются путём соответствующего корректирования стоимостной информации, внесения поправки. Фактически, использование поправки - это учёт стоимости отличий. Наиболее простой и часто употребляемый вариант проведения корректировки заключается в установлении и использовании прямо пропорциональной зависимости стоимости и возраста [1, 2]. Однако в реальной жизни так не происходит. В начале жизненного цикла стоимость снижается "быстро", затем процесс удешевления замедляется и к концу цикла практически останавливается, указывая на нелинейный характер удешевления [2, 3]. Поэтому, если аналоги объекта оценки представлены только на первичном рынке и/или нет соответствующих по возрасту аналогов на вторичном, задача определения стоимости существенно усложняется, а точность результата – снижается.

Частичное решение, призванное отразить нелинейный характер удешевления оборудования с возрастом, представлено в работе [1], где предложена математическая модель вида

$$C_O = C_B(0{,}2 + 0{,}8e^{-\omega T}), \qquad (1)$$

основанная на положениях теории надёжности, учитывающих нарастание вероятности возникновения отказов с течением времени и связанное с ним удешевление техники. Здесь C_O– текущая стоимость объекта, C_B стоимость нового аналога, e – основание натуральных логарифмов, ω – параметр по-

тока отказов, T – возраст оцениваемой техники. Модель разработана только для металлообрабатывающих станков и использует стоимостную информацию только первичного рынка. Она построена на предположении о невозможности снижения стоимости более чем на 80 % и на жёсткой увязке величины ω с нормативным сроком эксплуатации оборудования T_H. Предполагается, что $\omega=5/T_H$. Обладая такими существенными ограничениями, модель не может широко применяться.

Постановка цели и задач исследования. Анализ ситуации со спросом и предложением различных объектов на первичном и вторичном рынках показывает, что для подавляющего большинства технических средств можно и определить цены новых машин, и найти предложения о продаже или совершенных сделках купли-продажи по одному-двум бывшим в употреблении аналогам. Это относится, например, к различным станкам и машинам пищевых производств, к грузоподъёмному и полиграфическому оборудованию и даже к судам водного и воздушного транспорта. Использование реальной информации вторичного рынка для моделирования стоимости способно существенно повысить объективность расчётов, а применение при этом элементов теории надёжности – их точность. Решение этой проблемы следует искать в устранении ограничивающих условий модели (1).

Таким образом, можно сформулировать *цель исследования – разработать методику построения математических моделей стоимости машин и оборудования на основе положений теории надёжности с использованием информации вторичного рынка.*

Базовая функция надёжности, описывающая вероятность безотказной работы, имеет вид

$$P = e^{-\omega T}, \tag{2}$$

где ω – параметр потока отказов [4-6].

В начальный момент времени при $T=0$ вероятность безотказной работы $P=1$. В дальнейшем в процессе функционирования техники с течением времени величина P уменьшается, стремясь к 0. Вероятность безотказной работы отражает текущее состояние техники, а нелинейный характер зависимости хорошо согласуется с общими тенденциями изменения стоимости во времени.

В процессе жизненного цикла машины её стоимость также уменьшается от максимального значения, соответствующего новому образцу, приближаясь к минимальному, соответствующему стоимости заключенных в ней материалов. Следовательно, величину P можно использовать в качестве коэффициента текущей стоимости, показывающего остающуюся на момент расчёта долю первоначальной стоимости. То есть

$$C_O = PC_B$$

или с учётом (2)

$$C_O = C_B e^{-\omega T}. \tag{3}$$

Тогда для вычисления C_O необходимо знать величину ω. Её можно найти в том случае, если имеется рыночная информация о сопоставимых

аналогах. Поэтому *первая задача исследования – построение выражений для расчёта ω с использованием рыночной информации и формирование моделей стоимости.*

Использование полученных моделей целесообразно в том случае, если расчётные значения стоимости оцениваемых машин более точно соответствуют рыночной ситуации, чем вычисленные с использование типовых методик пропорциональных зависимостей. Соответственно, *вторая задача исследования – апробация моделей на реальных рыночных аналогах.*

Построение моделей параметра потока отказов и стоимости машин и оборудования с использованием рыночной информации. Предварительный анализ показывает, что искомые модели можно найти, имея сведения о стоимости двух аналогов и их возрасте. Это может быть новая машина и её бывший в употреблении образец, возраст которого известен, или два бывших в употреблении аналога известного возраста. Наличие сведений о стоимости двух аналогов различного возраста означает, что для первого аналога $P_1 = e^{-\omega T_1}$, а для второго $P_2 = e^{-\omega T_2}$. Тогда, используя (3), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} C_1 = C_B e^{-\omega T_1}; \\ C_2 = C_B e^{-\omega T_2}, \end{cases} \qquad (4)$$

где C_1 и C_2 – стоимость, а T_1 и T_2 – возраст аналогов 1 и 2 соответственно. Отсюда, представив C_B в виде $C_B = C_1 e^{\omega T_1}$, после подстановки в (4) найдём зависимость для вычисления значения ***ω***, соответствующего данному возрастному интервалу аналогов:

$$\omega = \frac{\ln \frac{C_2}{C_1}}{T_1 - T_2}. \qquad (5)$$

Теперь для вычисления величины C_O можно использовать сведения об одном из аналогов, составив систему по образцу предыдущей.

$$\begin{cases} C_{1(2)} = C_B e^{-\omega T_{1(2)}}; \\ C_O = C_B e^{-\omega T}. \end{cases}$$

Откуда после преобразований получим

$$C_O = C_{1(2)} e^{\omega (T_{1(2)} - T)}. \qquad (6)$$

Использование в расчётах значения *ω* сведений о стоимости нового образца оборудования равносильно применению аналога, для которого значение *T* равно 0. Тогда при стоимости другого аналога C_A, имеющего возраст T_A, выражение (5) преобразуется в выражение

$$\omega = \frac{\ln \frac{C_B}{C_A}}{T_A}, \qquad (7)$$

а выражение (6) преобразуется в выражение

$$C_O = C_A e^{\omega(T_A - T)}. \qquad (8)$$

В этом варианте вычисления ω для расчёта величины C_O наряду с выражением (8) можно использовать формулу (3).

Апробация моделей. Объективный анализ сравнения полученных моделей и традиционных (с использованием пропорциональной зависимости удешевления) можно произвести, если с их помощью вычислить стоимость реальных образцов техники, предлагаемых или проданных на вторичном рынке, и сопоставить результаты расчётов с имеющейся ценовой информацией по ним.

Методика сопоставления состоит из следующих этапов:

1. Поиск информации по аналогам для выбранной машины: стоимость нового образца и трёх бывших в употреблении.
2. Расчёт значений ω по формулам (5) или (7) для различных пар найденных объектов-аналогов и расчёт прогнозной стоимости третьего аналога по формуле (8).
3. Определение годового удешевления

$$Г = \frac{C_1 - C_2}{T_2 - T_1},$$

для тех же пар аналогов и расчёт прогнозной стоимости C_O третьего аналога с использованием пропорциональной модели вида

$$C_O = C_{1(2)} - Г * (T - T_{1(2)}).$$

4. Сопоставление результатов расчётов стоимости по двум типам моделей и определение величины– удельного отклонения расчётного значения стоимости *(У)* от реального C_P для каждого типа моделей.

$$У = \left| \frac{C_O - C_P}{C_O} \right| * 100\%.$$

5. Оценка точности разработанного метода путём вычисления отношения

$$M = \frac{У_T}{У_M},$$

где $У_T$ и $У_M$ – удельные отклонения результатов расчёта стоимости с использованием традиционных и моделей вида (8).

А. Выбор аналогов. В качестве объектов для апробации результатов были выбраны типичные образцы машиностроительной продукции из разных отраслей, отличающихся технологией производства: станки (серийная продукция с большой долей операций механической обработки), башенные подъёмные краны (несерийная продукция с большой долей сборочных опе-

раций) и суда (индивидуальное производство с большой долей разнородных комплектующих).

Информация об аналогах:

Токарно-винторезный станок 1М63	Стоимость, руб.	Год выпуска	Источник информации
Новый образец	750 000	2006	Станко, Россия, г. Великий Новгород, т/ф +7(911)610-13-68, +7(911)603-21-23
Аналог 1	254 000	1991	http://stanok101.narod.ru/stanok.html
Аналог 2	189 000	1986	http://stanok101.narod.ru/stanok.html
Аналог 3	137 000	1967	http://stanok101.narod.ru/stanok.html

Башенный кран КБ-408	Стоимость, руб.	Год выпуска	Источник информации
Новый образец	9 300 000	2006	ЗАО "Машстройиндустрия, , тел./факс (095) 330-7921
Аналог 1	1 900 000	1992	http://sbm.b2bsbn.ru тел. (8342)559794 д. 9276987732 моб. Саранск
Аналог 2	900 000	1987	Т.(8342)559794 http://sbm.b2bsbn.ru
Аналог 3	800 000	1986	8-8453-757333 тел. 8-23-757333http://www.sarbk.ru

Судно ПТР проекта 01340	Стоимость, руб.	Год выпуска	Источник информации
Новый образец	14 000 000	2006	ООО "ЛУиС" г. Находка, Тел./факс: (4236) 62-00-85).
Аналог 1	5 290 000	1991	www.arsenal-yachts.ru
Аналог 2	2 720 000	1983	www.arsenal-yachts.ru
Аналог 3	1 373 000	1972	www.arsenal-yachts.ru

Аналоги расположены в порядке увеличения возраста с целью типизации исследований.

Б. Программа исследований. Собранная информация использована для моделирования стоимости по четырем вариантам для каждой группы аналогов:

1) расчёт **ω** на основе информации о новом образце и аналоге 1 (формула (7)) и вычисление стоимости аналога 2 (экстраполирование с использованием информации первичного и вторичного рынков);

2) расчёт **ω** на основе информации об аналогах 1 и 2 (формула (5)) и вычисление стоимости аналога 3 (экстраполирование с использованием информации вторичного рынка);

3) расчёт **ω** на основе информации о новом образце и аналоге 3 (формула (7)) и вычисление стоимости аналога 2 (интерполирование с использованием информации первичного и вторичного рынков);

4) расчёт **ω** на основе информации об аналогах 1 и 3 (формула (5)) и вычисление стоимости аналога 2 (интерполирование с использованием информации вторичного рынка).

В. Процесс и результаты исследований.

1.Исследования по п.1 программы. Расчёт стоимости аналога 2.

Токарно-винторезный станок 1М63. Год выпуска 1986.

Стоимость предложения 189000 руб.

Токарно-винторезный станок 1М63	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб./год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Новый	750 000	2006	0,072	177048	7	33067	88667	113	16,8
Аналог 1	254 000	1991							

Башенный кран КБ-408. Год выпуска 1987.

Стоимость предложения 900000 руб.

Башенный кран КБ-408	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Новый	9 300 000	2006	0,123	1669967	14	425000	3350000	43	3,1
Аналог 1	1 900 000	1992							

Судно ПТР проекта 01340. Год выпуска 1983.

Стоимость предложения 2720000 руб.

Судно ПТР проекта 01340	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Новое	14 000 000	2006	0,065	3147969	14	580667	644667	322	23,7
Аналог 1	5 290 000	1991							

Величина У для моделей, выполненных на базе основных положений теории надёжности, колеблется от 7 до 14 %, для пропорциональных моделей - от 43 до 322 %. Точность моделей, использующих ω, выше в 3,1-23,7 раза.

2. Исследования по п.2 программы. Расчёт стоимости аналога 3.

Токарно-винторезный станок 1М63. Год выпуска 1967.

Стоимость предложения 137000 руб.

Токарно-винторезный станок 1М63	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 3, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 3 , руб.	У, %	
Аналог 1	254 000	1991	0,059	61468	123	13000	-58000*	336	2,7
Аналог 2	189 000	1986							

* - результат не имеет практического применения

Башенный кран КБ-408. Год выпуска 1986.
Стоимость предложения 800000 руб.

Башенный кран КБ-408	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 3, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 3, руб.	У, %	
Аналог 1	1 900 000	1992	0,149	775069	3	200000	700000	14	4,4
Аналог 2	900 000	1987							

Судно ПТР проекта 01340. Год выпуска 1972.
Стоимость предложения 1373000 руб.

Судно ПТР проекта 01340	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 3, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 3, руб.	У, %	
Аналог 1	5 290 000	1991	0,083	1089807	26	321250	-813750*	269	10,3
Аналог 2	2 720 000	1983							

* - результат не имеет практического применения

Величина У для моделей, выполненных базе основных положений теории надёжности, колеблется от 3 до 123 %, для пропорциональных моделей - от 14 до 336 %. Точность моделей, использующих ω, выше в 2,7-10,3 раза.

3. Исследования по п.3 программы. Расчёт стоимости аналога 2.

Токарно-винторезный станок 1М63. Год выпуска 1986.
Стоимость предложения 189000 руб.

Токарно-винторезный станок 1М63	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Новый	750000	2006	0,044	313635	39,7	15718	435641	57	1,4
Аналог 3	137 000	1967							

Башенный кран КБ-408. Год выпуска 1987.
Стоимость предложения 900000 руб.

Башенный кран КБ-408	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Новый	9 300 000	2006	0,123	904398	0,5	425000	1225000	27	54,6*
Аналог 3	800 000	1986							

Судно ПТР проекта 01340. Год выпуска 1983.
Стоимость предложения 2720000 руб.

Судно ПТР проекта 01340	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Новое	14 000 000	2006	0,068	2910290	6,5	371382	5458206	50	7,7
Аналог 3	1 373 000	1972							

Величина У для моделей, выполненных базе основных положений теории надёжности, колеблется от 0,5 до 39,7 %, для пропорциональных моделей - от 27 до 57 %. Точность моделей, использующих ω, выше в 1,4-54,6 раза.

4. Исследования по п.4 программы. Расчёт стоимости аналога 2

Токарно-винторезный станок 1М63. Год выпуска 1986.
Стоимость предложения 189000 руб.

Токарно-винторезный станок 1М63	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Аналог 1	254 000	1991	0,026	223345	15	4875	229625	18	1,15
Аналог 3	137 000	1967							

Башенный кран КБ-408. Год выпуска 1987.
Стоимость предложения 900000 руб.

Башенный кран КБ-408	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Аналог 1	1 900 000	1992	0,144	924061	3	183333	983333	8	3,3
Аналог 3	800 000	1986							

Судно ПТР проекта 01340. Год выпуска 1983.
Стоимость предложения 2720000 руб.

Судно ПТР проекта 01340	Стоимость, руб.	Год выпуска	Модель с использованием ω			Пропорциональная модель			М
			ω	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	Г, руб/год	Стоимость аналога 2, руб.	У, %	
Аналог 3	1 373 000	1972	0,071	2997846	9	206158	3640737	25	2,7
Аналог 1	5 290 000	1991							

Величина У для моделей, выполненных базе основных положений теории надёжности, колеблется от 3 до 15%, для пропорциональных моделей - от 8 до 25 %. Точность моделей, использующих ω, выше в 1,15-3,5 раза.

Г. Выводы по результатам апробации. Проведённые исследования показывают, что использование моделей, полученных на базе основных положений теории надёжности не всегда позволяет получить результат, близкий к реальной рыночной ситуации. Однако расчётные значения стоимости имеют более высокую степень приближения в сравнении с величинами, вычисленными по традиционным пропорциональным моделям.

Заключение. Моделирование стоимости бывшей в употреблении техники с использованием информации вторичного рынка можно выполнять на базе положений теории надёжности. В основе моделей стоимости лежит учёт влияния вероятности безотказной работы. Моделирование проводится путём вычисления и дальнейшего использования величины параметра потока отказов ***ω***. Применение таких моделей позволяет повысить точность оценки в сравнении с традиционными пропорциональными моделями

Библиографический список

1. Оценка рыночной стоимости машин и оборудования. Серия «Оценочная деятельность»: Учеб.-практическое пособие / Н.Д. Дронова, Ю.А. Еленова, А.Н.Имшенецкий и др. / Под ред. О.С.Назарова, Э.А.Третьякова. – М.: Дело, 1998. – 240 с.
2. Ковалев А.П., Кушель А.А., Королев И.В., Фадеев П.В. Практика оценки стоимости машин и оборудования: Учебник / Под ред. М.А. Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 272 с.
3. Улицкий М.П., Андрианов Ю.В., Лужанский Б.Е., Чемерикин С.М. Оценка стоимости транспортных средств: Учеб.-метод. пособие / Под ред. М.П. Улицкого. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 304 с.
4. Александровская Л.Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. – М.: Логос, 2003. – 206 с.
5. Окороков В.Р. Надёжность производственных систем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1972.- 167 с.
6. Надёжность машин / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988. - 237 с.

Материал поступил в редакцию 02.02.06.

 ISBN 5-7890-0363-X

O.R. KIRISHIEV

MODELING of COST of MACHINES And EQUIPMENT ON THE BASIS OF the BASIC RULES of the RELIABILITY THEORY

The cost of second-hand machines and equipment may be described by mathematical models of exhibitor function of probability of non-failure operating, which are received with use of the current information of the second-hand machines market.

КИРИЩИЕВ Олег Рафаэлевич (р.1958), кандидат технических наук (1992), доцент (1997) кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Донского государственного технического университета. Окончил Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения (РИСХМ) в 1980 г. Специальность – сельскохозяйственные машины.
Научные интересы: оценка машин и оборудования.
Имеет около 20 публикаций.